فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی
جلد ۱۳، شماره ۱، صفحات ۴۸ – ۳۹
(بهار ۱۳۹۶)

اثر قارچ میکوریز و کود فسفره بر برخی صفات کمی و کیفی ذرت تحت تنش کم‌آبی

امیررضا پوررافضی
دانشجوی کارشناسی ارشد زیست شناسی
واحد اردبیل
دانشگاه آزاد اسلامی
اردبیل، ایران
نشانی الکترونیک ✉:
cnsa_cnsa@yahoo.com

احمد افکاری*
استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات
واحد کلیبر
دانشگاه آزاد اسلامی
کلیبر، ایران
نشانی الکترونیک ✉:
afkariahmad@yahoo.com
* مسئول مکاتبات

چکیده کمبود آب از مهم‌ترین عوامل محدودکنندهٔ عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. به منظور تعیین اثر قارچ میکوریز و کود فسفره بر برخی خصوصیات کمی و کیفی ذرت تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تلقیح با دو قارچ میکوریز *Glumus mosseae* و *Glumus etanicatum* و بدون تلقیح به عنوان شاهد، کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل در سه سطح ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار و سطوح مختلف آبیاری در سه سطح ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس آ در نظر گرفته شد. تأثیر تیمارهای آبیاری، فسفر و میکوریز بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، هم‌چنین اثر دوگانه فسفر و میکوریز بر ارتفاع بوته، عملکرد دانه، وزن خشک گیاه، درصد نیتروژن و غلظت فسفر معنی‌دار بود. با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، طول بلال، تعداد دانه در بلال، وزن خشک گیاه، عملکرد دانه، درصد نیتروژن و فسفر برگ کاهش و درصد پتاسیم برگ افزایش یافت. تلقیح با میکوریز و استفاده از ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، شاخص‌های زراعی، محتوای فسفر و پتاسیم برگ ذرت را در شرایط تنش خشکی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده به طور معنی‌داری افزایش داد. به طور کلی، کاربرد قارچ میکوریز توأم با فسفر در بستر کاشت سبب افزایش تحمل در برابر تنش کم‌آبی از طریق تأثیر بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در گیاه ذرت شد.

شناسه مقاله:
نوع مقاله: **پژوهشی**
تاریخ پژوهش: **۱۳۹۴**
تاریخ دریافت: **۹۵/۱۰/۲۵**
تاریخ پذیرش: **۹۶/۰۲/۰۶**

واژه‌های کلیدی:
- **تنش خشکی**
- **قارچ–ریشه**
- **سوپرفسفات تریپل**
- **فراهمی فسفر**

مقدمه اهمیت قارچ‌های هم‌زیست به علت نقش ویژه‌ی آن به‌عنوان حلقهٔ ارتباطی خاک و گیاه در حیطه‌ی کشاورزی اهمیت دارد. قارچ میکوریزا با مهیا نمودن شرایط لازم برای جذب بیشتر عناصر معدنی و آب توسط گیاهان نقش مؤثری در پایداری زیست‌بوم‌های مختلف بر عهده دارد.[۲۲] قارچ‌های میکوریز آربوسکولار[1] با ریشه اکثر گیاهان رابطه هم‌زیستی داشته و گیاه را در جذب عناصر معدنی، خاک و مواد غذایی- به‌ویژه عناصر کم‌تحرک- کمک می‌کند. این قارچ‌ها علاوه بر افزایش جذب مواد غذایی ممکن است سبب تحریک مواد تنظیم‌کننده رشد، افزایش فتوسنتز، بهبود تنظیم فشار اسمزی در شرایط خشکی و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی نیز شوند.[۱۱] در نتیجهٔ هم‌زیستی، قارچ‌های میکوریز مواد کربوهیدارتی را اغلب به شکل ساکارز از گیاه دریافت و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد. به این ترتیب که عناصر غذایی از غشای آربوسکول به صورت فعال در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و مواد کربوهیدراتی موجود در آوند آبکش گیاه ابتدا توسط قارچ به گلوکز و فروکتوز تبدیل شده و سپس توسط حامل‌ها جذب می‌گردد.[۳۰]

هاریسون (۲۰۰۵) معتقد است که همزیستی میکوریزا با گیاهان، بر تغذیهٔ فسفر گیاهان، تأثیر دارد.[۱۴] *داد (۲۰۰۰)* گزارش کرد که اثر میکوریزا حرکت کربن به سوی ریشه، رشد و تنفس ریشه را تشدید می‌کند.[۷] از دیدگاه *هادج (۲۰۰۰)* میکوریزا و باکتری‌های موجود در خاک در یک ارتباط متقابل، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها و برخی هورمون‌هایی را ترشح می‌کند که باعث تشدید رشد و تکثیرآن‌ها می‌شود.[۱۵] *میلر (۲۰۰۰)* کاهشِ کلنی‌زایی میکوریزایی را علت کاهش جذب فسفر در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا عنوان کرد.[۲۳] *محمودی و همکاران (۲۰۰۳)* گزارش دادند که هم‌زیستی میکوریزی، غلظت نیتروژن موجود در اندام هوایی گیاه پسته را افزایش داد. پستهٔ پرورش یافته در فسفر نسبتاً زیاد، نیتروژن بیشتری در ریشه و اندام هوایی خود داشت؛ در صورتی که غلظت نیتروژن در این بخش‌ها تحت شرایط فسفر کم، پایین‌تر بود.[۱۹] *شیرانی‌راد و همکاران (۲۰۰۰)* به این نتیجه رسیدند که بین کاربرد و عدم کاربرد میکوریزا در کارایی جذب نیتروژن ذرت تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.[۲۹] *روبرت (۲۰۰۱)* گزارش داد که هم‌زیستی با میکوریزا در تنش خشکی بر میزان نیتروژن گیاهان تأثیر کمی دارد.[۲۶]

فغانی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند در برهمکنش کم‌آبی با میکوریزا مقادیر نیتروژن ریشه گیاه در سطح ۱٪ تأثیر معنی‌داری داشت.[۱۲] *خلوتی و همکاران (۲۰۰۵)* گزارش کردند وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی بوته‌های گندم تلقیح شده با قارچ میکوریزا در مقایسه با بوته‌های شاهد در شرایط تنش کم‌آبی، بیشتر بود.[۱۷] گیاهان در طول رشد و نمو خود در معرض عوامل تنش‌زای محیطی قرار دارند. یکی از مهم‌ترین این تنش‌ها، تنش خشکی است که می‌تواند جذب و انتقال عناصر غذایی به گیاه را مشکل نماید. اما بعضی قارچ‌های مفید خاکزی مانند میکوریزا می‌تواند بر این عمل تأثیر بگذارد.[۲] *البابلی (۲۰۰۲)* نیز بیان کرد تعداد دفعات آبیاری می‌تواند بر غلظت عناصر کم‌نیاز در گیاه شبدر میکوریزایی اثر بگذارد؛ به این ترتیب که با افزایشدفعات آبیاری، غلظت عناصر مس و مولیبدن در گیاه شبدر همزیست با آربسکولار میکوریزا افزایش می‌یابد.[۸] هم‌زیستی قارچ‌های میکوریزا در تنش خشکی به طور معنی‌داری به ترتیب بر درصد فسفر و نیتروژن بافت گیاهی تأثیر داشت.[۱۳]

[1] Vesicular Arbascular Mycorrihza (VAM)

اردکانی و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا به میزان ۱۵۳٪، غلظت فسفر بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند.[۵] *کالوت و همکاران (۲۰۰۱)* بیان کردند تلقیح میکوریزایی هیبرید هلو – بادام اثری بر غلظت نیتروژن گیاه نداشته و غلظت پتاسیم را در شرایط تنش بیماری‌های نماتدی افزایش می‌دهد.[۶]

هدف از اجرای این پژوهش تعیین تأثیر میکوریز و کود فسفره بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، شاخص‌های کیفی مانند جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در وضعیت تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها به منظور تعیین اثر قارچ میکوریز و کود فسفره بر برخی خصوصیات کمی و کیفی ذرت تحت تنش کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمار فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل شامل سه سطح ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار بر اساس P_2O_5 انتخاب گردید. قارچ‌های میکوریز مورد استفاده شامل گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus etanicatum* بوده و سطوح آبیاری شامل سه سطح آبیاری نرمال بدون تنش (آبیاری بعد از ۷ روز)، آبیاری با تنش متوسط (آبیاری بعد از ۱۴ روز) و آبیاری با تنش خشکی (آبیاری بعد از ۲۱ روز) و بر اساس سطح تبخیر از تشتک کلاس آ، به ترتیب ۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر بود. جهت اجرای آزمایش قطعه زمینی در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل در فصل پاییز توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شده، سپس در اسفند ماه برای نرم کردن کلوخه‌ها دو بار دیسک زده شد. بعد از مرزبندی و تسطیح، ذرت رقم ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با تراکم ۵۷۰۰۰ بوته در هکتار در ۱۵ فروردین ماه ۱۳۹۴ کاشته شد. ابعاد هر کرت ۳ × ۳ متر، فاصله روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. براساس نتایج آزمون خاک، به منظور تقویت و تأمین عناصر مورد نیاز خاک به مقدار ۴۰۰ کیلوگرم اوره، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار به خاک اضافه شد. در ضمن، از ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره مذکور ۱۰۰ کیلوگرم آن قبل از کاشت به‌همراه کود فسفات و پتاس به زمین داده شد و بقیهٔ آن در دو نوبت، در زمان گلدهی و پر شدن دانه‌ها، به صورت سرک مصرف گردید. در دوره رسیدگی کامل، به‌طور تصادفی از هر کرت از مساحت ۱ متر مربع پنج بوته ذرت برداشت شد و صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در بلال، طول بلال، ارتفاع گیاه، وزن خشک گیاه و صفات کیفی چون درصد نیتروژن، پتاسیم و فسفر دانه ارزیابی گردید. ارتفاع گیاه با خط‌کش از سطح خاک تا انتهای بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک بوته بعد از خشک کردن بوته‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، وزن خشک بوته‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد. مقادیر عناصر نیتروژن به روش کجلدال[1]، فسفر به روش اسپکتروفتومتر[2] و پتاسیم به روش نورسنجی شعله با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتری[3] اندازه‌گیری شد.[۲۴] برای تجزیه واریانس داده‌ها، از نرم‌افزار MSTATC و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

تیمارهای آبیاری، فسفر و میکوریزا در سطح ۱٪ و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵٪ بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود.

[1] Kjeldahl (Gerhardt, Germany)
[2] Pharmacia LKB, UK
[3] flame photometer (Jenway PFP7, UK)

جدول ۱) تجزیه واریانس صفات ذرت تحت تأثیر تنش خشکی و کاربرد میکوریز و کود فسفره

Table 1) Variance analysis of corn traits affected by drought stress and mycorrhiza and phosphorous fertilizer

Sources of variation	df	plant height	grain yield	no. of grains per ear	ear length	plant dry weight	phosphorus	nitrogen	potassium
Replication	2	1912.28ns	024.01ns	21709.23ns	419.7ns	247.8ns	0.001ns	0.05ns	0.004ns
Drought stress (S)	2	1829.1**	1411.23**	310648.1**	197.8**	38419.6**	0.030**	0.567**	0.097**
Error (a)	4	142.38	23.09	105.6	9.34	230.12	0.001	0.001	0.006
Mycorrhizal (M)	2	2429.8**	2043.83**	82935.37**	54.09**	12387.5**	0.0195**	0.009**	0.02**
M × S	4	1723.8*	34.12*	4628.8ns	47.8ns	4801.8*	0.04**	0.001ns	0.006ns
Phosphorus (P)	2	2495.11**	904.82**	63175.17**	31.18**	10952.5**	0.30**	0.029**	0.122**
P × S	4	1418.02*	301.42*	12037.71ns	2.08ns	914.92*	0.008**	0.007ns	0.17*
M × P	4	333.9*	11.92*	2470.92ns	3.19ns	159.21*	0.007**	0.001ns	0.00ns
M × P × S	8	987.1ns	3.07ns	21.06ns	1.39ns	۸310.8ns	0.006ns	0.003ns	0.005ns
Error (b)	48	133.03	19.09	99.63	12.7	132.5	0.001	0.003	0.004
CV (%)		9.42	8.54	9.7	6,98	8.63	12.48	10.37	9.74

ns , *,**: non-significant, significant in 5 and 1%, respectively

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪

اثر متقابل سه‌گانه عوامل مورد بررسی بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۱). سطوح مختلف تنش کم‌آبی باعث کاهش ارتفاع بوته گردید. هم‌چنین کاربرد میکوریزا و اثر متقابل مقادیر مختلف فسفر در میکوریز، سبب افزایش ارتفاع گیاه شد. علت این امر تأثیر مفید این میکوریزا در جذب آب و عناصر مورد نیاز گیاه از طریق تولید ریسه و توسعه ریشه و نیز افزایش میزان نیتروژن تثبیت شده در خاک به منظور استفاده گیاه می‌باشد. استفاده از مواد مختلف تلقیح ارتفاع بوته را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. در این میان، بلندترین بوته در تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر توأم با کاربرد *G. mosseae* به دست آمد (جدول ۳). *جمشیدی و همکاران (۲۰۰۹)* نیز اعلام نمودند که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا ارتفاع بوته بیشتری داشته و طویل‌ترین بوته‌ها در گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* به دست آمد.[۱۶] گیاهچه‌های تانجرین تلقیح شده با قارچ آربوسکولار میکوریز تحت شرایط آبیاری بدون تنش و آبیاری با تنش، از ارتفاع بیشتری برخوردار بود.[۳۲] تلقیح با قارچ میکوریز ارتفاع گیاه گوجه فرنگی را افزایش داد، که دلیل آن جذب کافی آب و عناصر غذایی توسط هیف‌های قارچی اطراف ریشه بود.[۳] نتیجه‌ی حاصل شده با نتیجه‌گیری پژوهشگران دیگر مطابقت داشت.[۵،۲۱،۲۵]

طول بلال

تیمارهای آبیاری، فسفر و قارچ میکوریزا بر طول بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اما اثر متقابل آبیاری در فسفر، آبیاری در گونه‌های میکوریزا و اثر متقابل فسفر در گونه‌های میکوریزا و نیز اثر برهمکنش سه گانه بر طول بلال معنی‌دار نبود. (جدول ۱). سطوح مختلف تنش کم‌آبی باعث کاهش طول بلال گردید (جدول ۲). کاهش طول بلال در تیمارهای تنش به دلیل مواجه شدن مراحل بحرانی رشد زایشی با کمبود مواد پرورده می‌باشد. تیمار تنش ملایم نسبت به شرایط آبیاری نرمال، طول بلال را ۱۷/۱۸٪ کاهش داد. تأمین رطوبت مورد نیاز در تیمار آبیاری عادی، توانست بیشترین تأثیر را در حجیم شدن بلال و افزایش قطر آن داشته باشد . پس آبیاری به موقع در تکمیل رشد اندام‌های گیاهی، به خصوص اجزای زایشی مثل بلال می‌تواند مؤثر باشد. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های *شیخی و همکاران (۲۰۰۸)* هم‌خوانی دارد.[۲۰]

جدول ۲) صفات ذرت تحت تأثیر تنش خشکی و کاربرد میکوریزا و کود فسفره

Table 2) Corn traits affected by drought stress, application mycorrhiza and phosphorus fertilizer

Treatment	percent nitrogen	percent potassium	no. on grains per ear	car length (cm)
70 mm evaporation	0.684 a	0.747 b	628.11 a	19.20 a
140 mm evaporation	0.654 a	0.798 a	598.20 b	17.12 b
210 mm evaporation	0.578 b	0.812 a	520.72 c	15.08 c
G. mosseae	1.902 a	0.724 b	624.31 a	18.60 a
G. entanicum	1.861 a	0.781 ab	612.20 b	17.10 ab
Control	1.112 b	0.809 a	549.12 ab	15.34 b
75 kg per hectare	0.807 a	0.794 b	603.72 c	17.29 c
100 kg per hectare	0.838 a	0.832 a	599.81 b	19.40 b
125 kg per hectare	0.771 b	0.873 a	634.21 a	20.84 a

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نداشتن اختلاف آماری در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

The same letters in each column represents no significant difference in 5% probability level.

وزن خشک گیاه

تیمارهای آبیاری، فسفر و میکوریزا بر وزن خشک گیاه در سطح ۱٪ و اثر متقابل آبیاری در فسفر، اثر متقابل آبیاری در میکوریزا و اثر متقابل فسفر در میکوریزا بر وزن خشک گیاه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در این میان اثر برهمکنش سه‌گانه معنی‌دار نبود (جدول ۱). تنش شدید کم‌آبی و عدم استفاده از کود فسفر باعث کاهش وزن خشک گیاه ذرت گردید (جدول ۳). در این میان بیشترین مقادیر وزن خشک گیاه مربوط به تیمار کاربرد توأم میکوریز *G. mosseae* و ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد در اثر کمبود آب حجم سلول، تقسیم، دیواره سازی سلول، اندازه کلی گیاه و وزن تر و خشک گیاه کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر هر گونه تنش در رشد گیاه به طور مستقیم درصد وزن خشک را متأثر می‌سازد و موجب کاهش آن می‌گردد.[۵] استفاده از میکوریزا به دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و تولید برگ بیشتر سبب افزایش ماده خشک گیاه می‌شود. نتیجهٔ نقش میکوریز، افزایش فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسیدکربن و افزایش زیست‌تودهٔ اندام هوایی است.[۱۱] *اسماعیل‌پور و امانی (۲۰۱۴)* گزارش نمودند که تلقیح با قارچ میکوریز سبب افزایش در وزن تر و خشک گیاهان کاهو نسبت به شاهد شد.[۹]

تعداد دانه در بلال

اثر تیمارهای آبیاری، فسفر و قارچ میکوریزا بر تعداد دانه در بلال در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. اما اثر متقابل آبیاری در فسفر، اثر متقابل آبیاری در گونه‌های میکوریزا و اثر متقابل فسفر در گونه‌های میکوریزا بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار نبود. هم‌چنین اثر برهمکنش سه گانه روی تعداد دانه در بلال تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). استفاده از مواد مختلف تلقیح نسبت به شاهد به طور معنی‌داری تعداد دانه در بلال را افزایش داد (جدول ۲). کاربرد میکوریزا به دلیل تأثیر بر افزایش جذب فسفر توسط گیاه، مقدار این صفت را افزایش داد. در تیمار ۲۱ روز آبیاری به دلیل شکل گیری ضعیف اندام‌های زایشی و به‌تبع آن گرده‌افشانی نامناسب سبب گردیده تعداد دانه در بلال کاهش معنی‌داری نشان دهد. دلیل کاهش تولید دانه در مرحله ظهور گل آذین مربوط به آسیب دیدن سیستم تولید دانه گرده و نهایتاً گرده افشانی است.[۱۳] *ابدالی (۲۰۰۳)* اظهار داشت که کاربرد قارچ میکوریز نسبت به عدم کاربرد آن در شرایط تنش رطوبتی سبب افزایش تعداد کل دانه در بلال می‌شود.[۱] *شیخی و همکاران (۲۰۱۲)* نیز تعداد دانه در بلال بیشتری در شرایط مطلوب رطوبتی به دست آوردند.[۲۸]

جدول ۳) اثر متقابل دوگانه تنش خشکی، کاربرد میکوریز و کود فسفره بر صفات ذرت

Table 3) Means comparison of interactions between drought stress, application of mycorrhiza and phosphorus fertilizer on corn traits

Treatment	phosphorus concentrations (g/kg)	grain yield (ton/ha)	plant dry weight (g)	plant height (cm)	potassium (%)
S_1M_1	0.345 a	9.31 a	362.55 a	187.25 a	
S_1M_2	0.334 a	8.57 ab	311.80 b	183.30 a	
S_1M_3	0.293 c	6.92 b	308.69 b	176.20 b	
S_2M_1	0.324 b	7.13 b	306.57 b	179.31 ab	
S_2M_2	0.32. b	8.81 a	259.39 c	175.80 b	
S_2M_3	0.274 c	5.96 c	257,12 c	167.26 c	
S_3M_1	0.318 b	5.26 bc	285,51 bc	166.10 c	
S_3M_2	0.311 bc	6.81 b	256.28 c	161.53 c	
S_3M_3	0.265 d	5.14 d	245.31 cd	153.35 d	
S_1P_1	0.254 c	7.10 b	309.35 b	182.63 a	0.800 a
S_1P_2	0.283 a	8.27 a	321.92 ab	183.20 a	0.789 a
S_1P_3	0.271 ab	8.82 a	332.46 a	185.36 a	0.742 bc
S_2P_1	0.235 d	6.23 bc	236.17 de	174.13 b	0.798 a
S_2P_2	0.264 b	6.35 c	252.36 c	175.70 b	0.786 ab
S_2P_3	0.252 c	7.28 b	259.41 c	177.42 b	0.739 c
S_3P_1	0.226 e	5.45 c	232,13 e	160.65 d	0.757 b
S_3P_2	0.255 c	5.86 c	245.18 c	161.70 d	0.745 bc
S_3P_3	0.243 cd	6.13 bc	256.16 c	163.47 c	0.698 d
P_1M_1	1.354 a	8.45 a	270.35 c	172.97 c	
P_1M_2	1.333 b	7.94 b	259.14 d	170.81 c	
P_1M_3	0.955 e	6.57 c	246.57 e	168.70 cd	
P_2M_1	1.37 ab	8.65 a	272.26 c	180.22 b	
P_2M_2	1.349 b	8.15 ab	256.32 d	178.60 b	
P_2M_3	0.970 d	7.18 bc	253.56 d	177.01 bc	
P_3M_1	1.336 b	9.16 a	323.98 a	185.15 a	
P_3M_2	1.315 c	8.34 a	312.92 ab	182.85 a	
P_3M_3	0.936 f	6.97 c	300.29 b	181.28 ab	

S_1: ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، S_2: ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، S_3: ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، P_1: ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، P_2: ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، P_3: ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر، M_1: *G. mosseae*, M_2: *G. entanicum*, M3: Control

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نداشتن اختلاف آماری در سطح احتمال ۵٪ است.

S_1:70 mm evaporation from pan, :S_2 140 mm evaporation from pan, S_3:210 mm evaporation from pan, P_1:75 kg, P_2: 100 kg/h, P_2: 125 kg/h
M_1: *G. mosseae*, M_2: *G. entanicum*, M3 :Control
The same letters in each column represents no significant difference in 5% probability level.

عملکرد دانه

اثر تیمارهای آبیاری، فسفر و قارچ میکوریزا در سطح ۱٪ و اثر متقابل آبیاری در فسفر، اثر متقابل آبیاری در میکوریزا و اثر متقابل فسفر در میکوریزا بر عملکرد دانه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. اثر برهمکنش سه گانه معنی‌دار نبود (جدول ۱). همچنین، در شرایط بدون تنش گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* در مقایسه با *G. etanicatum* عملکرد دانه بیشتری داشتند (جدول ۳). هم‌چنین میکوریزا باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش کم‌آبی شده و از افت زیاد عملکرد نسبت به گیاهان تلقیح نشده جلوگیری نمود. آبیاری به‌موقع

و تأمین آب مورد نیاز ذرت در مراحل مختلف رشد توانست بالاترین عملکرد دانه را تولید نماید. به نظر می‌رسد که میکوریزا از طریق افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه‌ها در بلال باعث افزایش عملکرد ذرت در شرایط بدون تنش نسبت به تنش شدید آبی می‌شود.[۱] نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای میکوریز و فسفر نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به واسطه هم‌زیستی با میکوریز *G. mosseae* و با استفاده از تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر به دست آمد. (جدول ۳). در مجموع، استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد شد. این اثر افزایشی میکوریزا را پژوهشگران مختلف در درجه اول به افزایش سطح و گسترش ریشه‌های گیاه به واسطه تولید ریسه‌های قارچی و افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آب و سایر عناصر غذایی و در ادامه به بهبود فتوسنتز و رشد و نمو و توسعه اندام‌های هوایی و در نهایت افزایش وزن خشک گیاه نسبت می‌دهند.[۵،۲۱،۲۲]

نیتروژن

اثر تیمارهای آبیاری، فسفر و قارچ میکوریزا بر غلظت نیتروژن در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش ملایم نسبت به شرایط آبیاری نرمال جذب نیتروژن را به میزان ۱۲/۳۷٪ کاهش داد. استفاده از کود فسفره و مایکوریز به طور معنی‌داری درصد نیتروژن را افزایش داد (جدول ۲). این نتایج حاکی از یک رابطهٔ هم‌افزایی مثبت بین میکوریز و کود فسفر است که کاربرد توأم آنها باعث بهبود جذب عناصر در اندام هوایی گیاه و عملکرد ذرت شد. هم‌چنین، میکوریز *G. mosseae* نسبت به کود فسفره از توانایی بیشتری در افزایش جذب نیتروژن برخوردار بود (جدول ۱). این نتایج با نتایج به دست آمده از بررسی *اسمیت و همکاران (۲۰۱۰)* مبنی بر این که افزایش کودهای فسفره جذب عناصر نیتروژن، هم‌زیستی میکوریزی و کلنیزاسیون ریشه را کاهش می‌دهد، مطابقت داشت.[۳۰]

غلظت فسفر

اثر آبیاری، فسفر و قارچ میکوریزا، هم‌چنین اثر متقابل آبیاری در فسفر، اثر متقابل آبیاری در میکوریز و فسفر در میکوریز بر غلظت فسفر در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین مقدار فسفر به علت هم‌زیستی با میکوریز *G. mosseae* در شرایط آبیاری نرمال به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تحرک کمِ عنصر فسفر در شرایط تنش خشکی، علت کاهش میزان جذب این عنصر باشد.[۱۳] *شیخ و همکاران (۲۰۱۲)* نشان دادند که کاربرد توأم قارچ میکوریزی و باکتری حل‌کننده فسفات سبب افزایش جذب فسفر و نیتروژن، درصد کلنیزاسیون ریشه، کارایی مصرف آب و عملکرد دانه ذرت تحت شرایط تنش خشکی گردید.[۲۸] هم‌چنین استفاده از کودها نسبت به شاهد، غلظت فسفر را ۱۹/۰۸٪ افزایش داد (جدول ۳). نقش اصلی قارچ‌های میکوریزی تأمین عنصر غیرمحلول و کم‌تحرکی شدید فسفر در گیاه است. قارچ‌های میکوریز، از طریق کمک به افزایش جذب فسفر تأثیر مثبتی بر رشد گیاهان دارند.[۱۳] *زاکرینی (۲۰۰۷)* دریافت که تلقیح کاهو با میکوریز باعث افزایش جذب فسفر و پتاسیم می‌شود.[۳۳] *اسماعیل‌پور و امانی (۲۰۱۴)* گزارش نمودند که با افزایش تنش خشکی مقدار فسفر در اندام‌های هوایی گیاه مرزه کاهش یافت.[۱۰] *سومانا و بایراجا (۲۰۰۲)* گزارش کردند که تلقیح با قارچ میکوریزی به همراه ازتوباکتر موجب افزایش زیست توده و جذب فسفر و اقزایش توانایی میکوریز در اشغال ریشهٔ گیاه هم‌بستگی منفی با مقدار فسفر موجود در خاک دارد.[۳۱]

پتاسیم

اثر آبیاری، فسفر و قارچ میکوریزا در سطح ۱٪ و اثر متقابل آبیاری در

فسفر بر میزان پتاسیم در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). تنش خشکی باعث افزایش جذب پتاسیم گردید (جدول ۲). افزایش جذب پتاسیم در شرایط تنش خشکی به دلیل سازوکار جذب فعال این عنصر است؛ در واقع گیاه به منظور افزایش مقاومت به خشکی با صرف انرژی غلظت پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی بالا می‌برد.[۱۸] استفاده از کود زیستی و نیز فسفره درصد پتاسیم به میزان ۱۱/۱۷٪ افزایش داد (جدول ۳). *سانتوز و آلجو (۱۹۹۴)* در فلفل مشاهده نمودند که تنش رطوبتی سبب افزایش درصد جذب پتاسیم شده و میکوریز نیز در افزایش جذب فسفر و پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی مؤثر بود.[۲۷] *زاکرینی (۲۰۰۷)* نیز گزارش کرد که تلقیح با میکوریز در شرایط تنش شوری باعث افزایش جذب فسفر و پتاسیم در کاهو گردید.[۳۳] *امیر و همکاران (۲۰۱۲)* دریافتند که همزیستی میکوریزایی باعث افزایش غلظت فسفر در اندام هوایی شد.[۴] *لطفی و همکاران (۲۰۱۵)* گزارش نمودند که عوامل میکروبی و برهمکنش آن‌ها جذب پتاسیم در گیاه را افزایش می‌دهد.[۱۸]

نتیجه‌گیری کلی بیشترین عملکرد دانه، خصوصیات کمی و کیفی ذرت به واسطه همزیستی با میکوریز *G. mosseae* در شرایط آبیاری نرمال و با استفاده از تیمار ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر به دست آمد. بنابراین، کاربرد قارچ میکوریزا توأم با فسفر در بستر کاشت سبب افزایش تحمل در برابر تنش کم‌آبی از طریق تأثیر بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی در گیاه ذرت شد.

References

1. Abdali R (2003) Effect of mycorrhiza and phosphorus at different levels on yield, yield components and some morphological characteristics of corn popcorn. Master Thesis, Islamic Azad University, Karaj Branch: Karaj, Iran. [in Persian with English abstract]
2. Aghababai F, Raisi F, Nadian H (2011) Influence of mycorrhizal symbiosis on the uptake of nutrients in some commercial genotypes of almond in a sandy loam soil. Iranian Journal of Soil Research 25(2): 137-147. [in Persian with English abstract]
3. Alkaraki GN, Hamnad R (2001) Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. Journal of Plant Nutrition 24(8): 1311-1323.
4. Amirabadi M, Seifi M, Rejali F, Ardakani MR (2012) Study the concentration of macroelements in forage mays (*Zea mays* L.) (SC 704) as effected by inoculation with mycorrhizal fungi and *azotobacter chroococcum* under different levels of nitrogen. Journal of Agroecology 4(1):33-40. [in Persian with English abstract]
5. Ardakani M, Mazaheri D, Noormohammadi G, Majd F (2000) the study of mycorrhiza and streptomyces' efficiency and different levels of phosphorus on grain yield and some characters of wheat. Iranian Journal of Crop Sciences 2(2): 17-28. [in Persian with English abstract]
6. Calvet C.J, Pinochet A, Hernandez D, Estan V, Camprubi A (2001) Field microplot performance of the peach-almond hybrid GF-677 after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in a replant soil infested with root-knot nematodes. Mycorrhiza 10(6): 295–300.
7. Dodd JC (2000) The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro-and natural ecosystems. Outlook on Agriculture 29(1): 63-70.
8. El-Bably AZ (2002) Effect of irrigation and nutrition of copper and molybdenum on Egyptian clover (L.). Agronomy Journal 94(5): 1066–1070.
9. Enteshari Sh, Haji Hashim G (2010) Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi nodulation on the roots and uptake of some elements of soybean under salt stress conditions. Journal of Plant Protection (Agricultural Science and Technology) 24(3): 315- 323. [in Persian with English abstract]
10. Esmaielpour B, Amani N (2014) Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in lactuca sativa cv Syaho. Soil Management and Sustainable Production (4) 2: 49-69. [in Persian with English abstract]
11. Esmaeilpour B, Jalilvand P, Hadian J (2013) Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology (5)2: 169- 177. [in Persian with English abstract]

12. Faghani A, Goudarzi M, Safarnejad A (2015) Effects of mycorrhizal symbiosism on some physiological characters of Sesbania aculeta against water deficient stress. Agronomy Journal 28(106): 37-44. [in Persian with English abstract]
13. Gholami A (2000) The role of arbuscular viskular fungi stable supply of nutrients in corn. PhD Thesis, Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture: Tehran, Iran. [in Persian with English abstract]
14. Harrison MJ (2005) Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Annual Review of Microbiology 59: 19-42.
15. Hodge A (2000) Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. FEMS Microbiology Ecology 32(2): 91-96.
16. Jamshidi EA, Ghalavand A, Salahi M, Zare G, Jamshidi AR (2009) Effect of arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 11(2):136-150. [in Persian with English abstract]
17. Khalvati MA, Mzafar A, Schmidhalter U (2005) Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hypha and its signification for leaf growth, water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7(6): 706-712.
18. Lotfi E, Baghernejad M, Karimian NA, Zarei M (2015) Effect of arbuscular mycorrhizal fungus, plant growth promoting rhizobacterium, and drought stress on different forms of soil potassium and potassium uptake of maize. Journal of Water and Soil Conservation 22 (6): 271-282. [in Persian with English abstract]
19. Mahmoudi M, Fahimi H, Khoshru M (2003) influence of phosphorus nutrition and a vesicular - arbuscular mycorrhizal fungus on growth and p and n assimilation of *Pistacia vera* L. Pajouhesh-va-Sazandegi 16(58): 23-29. [in Persian with English abstract]
20. Masjehdi A, Shokouhifar A, AlaviFazel M (2008) Survey of most suitable irrigation scheduling and effect of drought stress on yield for summer corn (SC.704) with class a evaporation pan in Ahvaz. Journal of Crop Production and Processing 12(46): 543-550. [in Persian with English abstract]
21. Mehrban A (2007) The role of mycorrhizal symbiosis fungi in battles with drought. Proceedings of the First Conference on Drought and How to Fight It. Birjand, Iran. [in Persian]
22. MesrzadehAzar A, Afkari A (2014) The role of arbuscular mycorrhizal fungi on growth parameters of maize. Proceedings of the Second National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources. Tehran, Iran. [in Persian]
23. Miller MH (2000) Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: a review of Guelph studies. Canadian Journal of Plant Science 80(1): 47-52.
24. Mohammdi L, Rizi S, Barzear (2016) Application of mycorrhiza on reducing the effects of salinity on henna flower New Guinea. Journal of Crops Improvement 18(2): 289-301. [in Persian with English abstract]
25. Morte A, Lovisolo C, Schubert A (2000) Effect of drought stress on growth and water relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense-Terfezia claveryi*. Mycorrhiza 10(3):115-119.
26. Robert MA (2001) Water relation, drought and vesicular- arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11(1): 3-42.
27. Santos MS, Alejo NO (1994) Effect of water stress on growth, osmotic potential and solute accumulation in cultivars form chili pepper. Plant Science 96: 21-29.
28. Sheikhi M, sajedi NA, Jiriaie M (2012) Effects of water deficit stress on agronomical traits of maize hybrids in Arak climate condition. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(3): 101-110. [in Persian with English abstract]
29. Shiranirad AH, Alizadeh A, Hashemi Dezfooli Ah (2000) The study of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungi, phosphorus and drought stress effects on nutrient uptake efficiency in wheat. Seed and Plant Improvement Journal 16(3): 327-349. [in Persian with English abstract]
30. Smith SE, Facelli E, Pope S (2010) Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil 326(1): 3-20.
31. Sumana DA, Bagyaraj DJ (2002) Interaction between VAM fungi and nitrogen fixing bacteria and their influence on growth and nutrition of neem (*Azadirachta indica*. A. Juss). Indian Journal of Microbiology 42: 295-298.
32. Wu QS, Xia RX (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163(4): 417-425.
33. Zuccarini P (2007) Mycorrhizal infection ameliorates chlorophyll content and nutrient uptake of lettuce exposed to saline irrigation. Plant Soil Environment 53(7): 283-289.

The effect of mycorrhiza and phosphorus fertilizer application on some corn quantitative and qualitative traits under drought stress

Agroecology Journal
Volume 13, Issue 1, Pages 39-48
spring, 2017

Amirreza Pourrafezi
Master student of Biology Ardabil Branch
Islamic Azad University
Ardabil, Iran
Email ✉: cnsa_cnsa@yahoo.com

Ahmad Afkari
Assistant Professor
Department of Agronomy and Plant Breeding
Kaleybar Branch
Islamic Azad University
Kaleybar, Iran
Email ✉: afkariahmad@yahoo.com
(corresponding author)

Received: 14 January 2017 **Accepted:** 26 April 2017

ABSTRACT Water deficient is one of the most important factors limiting yield of field crops in arid and semi-arid regions. To investigate the effects of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizers on some quantitative and qualitative traits of corn under water deficient stress; an experiment was carried out as split factorial based on completely block randomized design with three replications in Research Station of the Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Ardabil Branch in 2015. The experimental treatments included inoculation with two mycorrhizal fungi species of *Glumus mosseae* and *Glumus etanicatum*, phosphorus fertilizer from triple superphosphate source at levels of 75, 100, and 125 kg/ha, and irrigation at levels of 70, 140, and 210 mm evaporation from class A evaporation pan. The effect of irrigation, phosphorus fertilizer and mycorrhiza on all measured traits was significant at 1% probability level. Also interaction of phosphorous fertilizer and mycohrriza was significant in plant height, grain yield, plant dry weight, nitrogen percentage and the phosphorous concentration was significant. Increasing in drought stress caused decrement in plant height, ear length, number on grains per ear, plant dry weight, grain yield, nitrogen percentage and leaf phosphorus content, but increment in leaf potassium percentage content. Furthermore, inoculation with mycorrhiza along with with phosphorus fertilizer at 125 kg/ha, significantly increased agronomic indices and phosphorus and potassium contents of corn leaves under of water stress conditions. On the whole, implementation of mycorrhizal fungi along with phosphorus fertilizer in planting bed caused tolerance enhancement in corn against drought stress through influencing on some physiological characteristics.

Keywords:
- water deficient stress
- phosphorus availability
- plant nutrition
- triple superphosphate